生物质燃气燃烧器技术研究进展

仉利[1,2]，赵立欣[2]，姚宗路[2]，丛宏斌[2]，张晓辉[1]，王永振[1]

(1.山东农业大学机械与电子工程学院，山东泰安，271018；2.农业部规划设计研究院农业部废弃物能源化利用重点实验室，北京市，100125)

摘要：由于当今化石能源日益减少，环境污染加剧，寻找新型可再生能源和提高能源燃烧效率尤为迫切。在总结国内外燃气燃烧器现状、归纳各种燃气燃烧器的特点和应用范围的基础上，结合生物质燃气净化工艺、燃气成分及特性，分析了生物质燃气燃烧器设计的基本思路与要求，详细阐述几种典型生物质燃气燃烧器的结构和特点，提出生物质燃气燃烧器设计的不足及燃气燃烧存在的问题。为进一步提高生物质燃气利用率，结合我国农业与农村生产，提出适宜我国生物质燃气发展的方向。

0引言

生物质燃气是以农作物秸秆、林木废弃物等生物质为原料在缺氧、低氧或水蒸气等介质下，经过高温降解的热化学转化过程后，产生的可燃气体。作为新型清洁能源，该气体需除尘、除焦等净化后燃烧，供于其他设备用热。生物质燃气既可以用于农村炊事用能，也可以替代传统化石燃料应用于工业窑炉及锅炉行业，不仅能减缓化石能源燃烧带来的全球变暖和空气污染的问题，同时成为满足人类生存和发展的动力需求。

国外生物质能源技术比较先进，以欧美一些发达国家为主，农场作为农业生产的特色，生物质资源数量多并相对集中，热解生成大量生物质燃气，较多用于发电和区域供热并实现了商业化应用，形成了规模化产业经营。20世纪80年代美国可再生能源实验室和夏威夷大学进行了生物质燃气联合循环发电系统(BIGCC)的研究。我国能源相对不足，资源质量较差，能源以煤为主，环境问题也日益严峻，不符合发展循环经济的战略方针，生物质为原料生成生物质燃气，可实现废物减量化、改善城市生态环境，还可生产生物质能源，涵盖了“节能环保”和“新能源”两个战略性产业旧。在生物质能源开发利用方面，生物质燃气燃烧装备的开发对提高污染治理和资源环境利用率起着至关重要的作用。

1燃气燃烧器技术概况

1.1燃气燃烧器技术进展

国外燃气燃烧器有上百年的历史，产业发展成熟，所用配件、安装尺寸和工作工序均有国际标准，部分较高性能燃烧器的燃烧效率平均能够达到99.96%，烟尘排放量24mg／m^3，SO_2排放量137mg／m^3，CO的排放量仅有1.02×10^{-4}mg／m^3，而且烟气黑度等级几乎为零，对自然环境污染的影响可以忽略不计，如利雅路系列低NO_x燃烧器。我国燃气燃烧器研究开始于前苏联资料的学习研究，20世纪80年代末对燃气燃烧器的开发研究处于国产化工作的状态，90年代中后期，在全国范围内陆续建立了多家制造燃烧器的企业；截止到目前为止我国工业用燃气燃烧器基本上都是进口产品，分别购买于不同国家，其中以敦威(Dunphy)、利雅路(Riello)、扎克(Saacke)、意大利的百得(baltur)、英国的力威(NU—WAY)、德国的威索(Weishaupt)和芬兰的奥林(Oilon)等居多。

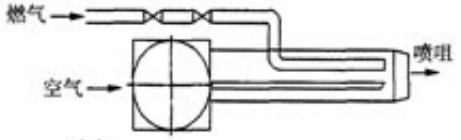
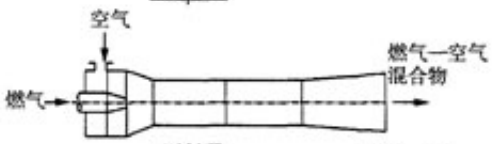
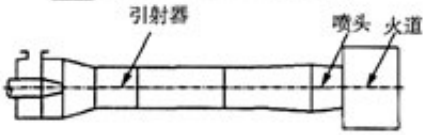
1.2燃气燃烧器分类及性能特点

燃气燃烧器类型很多，分类方法不尽相同，按一次空气系数分为：扩散式燃烧器、大气式燃烧器和完全预混式燃烧器，如表1所示；按空气的供给方法分为：引射式燃烧器、自然供风燃烧器和鼓风式燃烧器；按燃气压力分为：低压燃烧器、高(中)压燃烧器。

以燃烧方法分类为例，扩散式燃气燃烧器包括：自然引风式和鼓风式，主要应用于各种工业锅炉、沸水器、热水器、纺织业及食品中的加热设备；大气式燃烧器要求在温度不高的场合，如家庭及公用事业中的燃气家用灶具，在某些中小型锅炉上得到广泛应用；完全预混式燃烧器主要应用在工业加热装置上。

表 1　按一次空气系数分类的各类燃烧器

Tab. 1　Burners classified by primary air coefficient

分类	结构	性能
扩散式燃烧器		结构紧凑，体型轻巧，并且热负荷调节范围大，可以预热空气和燃气，安全可靠性高。
大气式燃烧器		应用于温度要求不高的场合，环境要求必须通室良好，必须保证烟道是负压，否则烟气倒流。
完全预混式燃烧器		要求燃气热值及密度要稳定，否则易发生不完全燃烧或脱火现象，并且发生回火的可能性大。

2生物质燃气的特性与生物质燃气净化工艺

生物质在一定温度条件下，以空气、水蒸气、氮气或氢气等气体作为气化剂，转化为含有CO、H_2和低分子烃类等的可燃气体。这种技术属于生物质热化学转化技术，最终产气组分的影响因素有反应装置类型、原料种类、反应条件和工艺流程等。

2.1生物质燃气的特性

以生物质气化为例，目前流化床或固定床一般以空气为气化剂，燃气比重大、热值低，一般为6～6.6MJ／Nm^3，生物质燃气成分含量在表2范围内。

表 2　生物质燃气(气化)成分

Tab. 2　Biomass gas (gasification) component

气体名称	体积百分比/%	气体名称	体积百分比/%
H_2	13～19	C_3H_6	0.1～0.14
CO	18.6～19.8	CO_2	10.6～12.2
CH_4	1.8～4.0	O_2	1.6～1.9
C_2H_4	0.2～0.76	N_2	44.1～52.2

2.2生物质燃气的净化工艺

生物质热解设备直接产出的燃气中不仅含有气体组分，还含有焦油、灰分和水蒸汽，对燃气进行进一步净化后才能用于燃烧。其中灰分经过自由降落或者旋风分离器去除；水分去除一般通过高速旋转的风机或导流板，导流板使燃气流经多个叶片，在曲折的流道中，经过多次撞击形成水滴后沿板壁流下。工艺流程如图1所示。

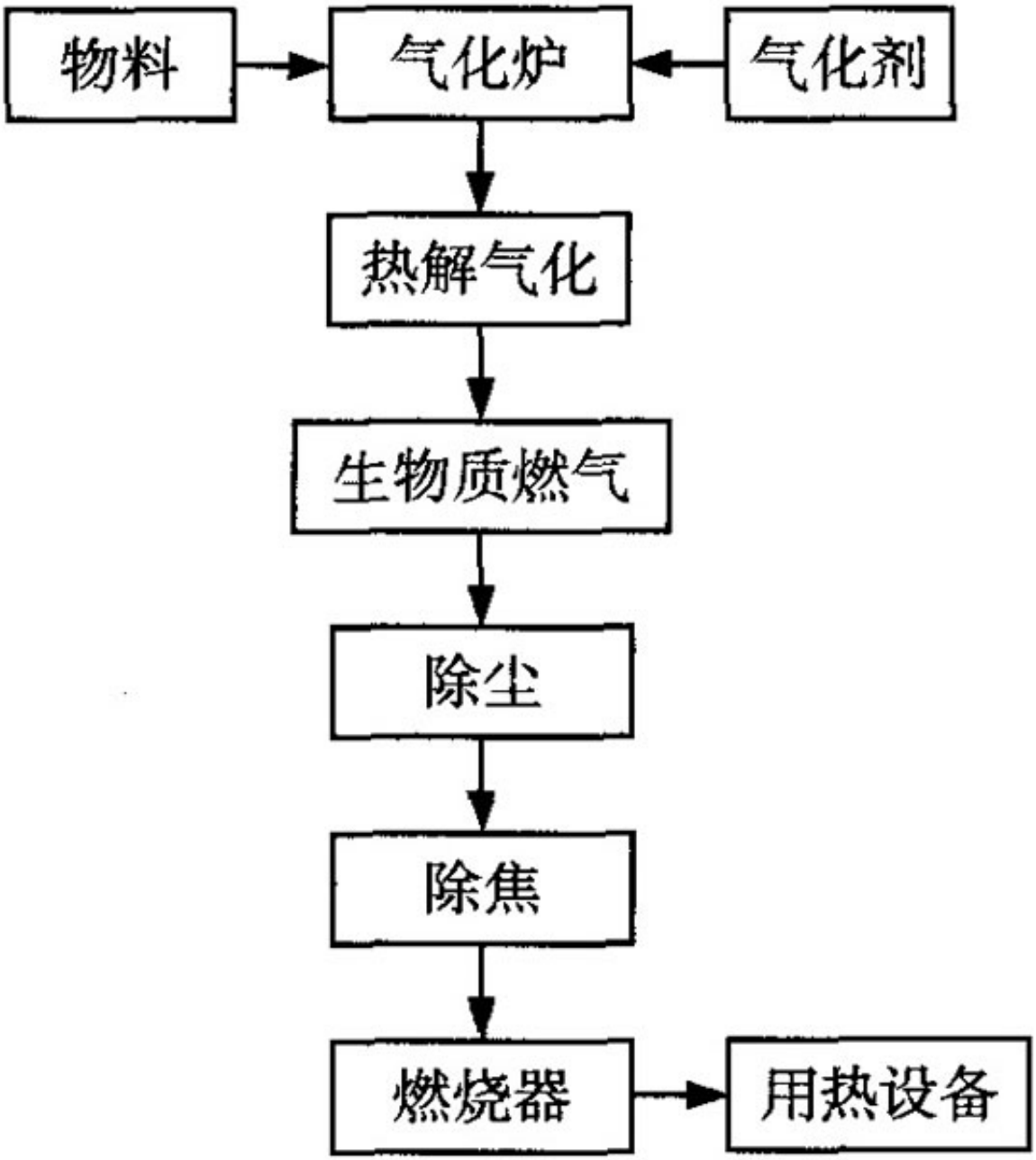


图 1　生物质气化工艺流程

Fig. 1　Process of biomass gasification

对水分和灰分的处理相对焦油处理而言较容易，生物质燃气利用中最大的难题就是对焦油的处理。虽然生物质焦油对人类和环境存在极大危害，但在工业生产中是一种重要的化工原料。焦油处理的方法分为物理法和化学法，常见的物理方法有：水洗法、过滤法、电捕焦；化学法主要包括高温裂解和催化裂解。

但是由于成本高、反应条件不佳及焦油自身特性等因素，往往导致除焦效果不理想，从而影响燃烧效果。

3典型生物质燃气燃烧器

由于生物质燃气的起燃温度比较高，且着火浓度下限(15.3%)远远高于煤气(5.3%)、天然气(4.5%)及液化气(9.0%)，因此仅通过普通高压点火或采用常规燃气燃烧器的点火系统很难保证点火和正常燃烧，因此系统通常同时采用燃气燃烧器或燃油燃烧器与高压点火装置并用的形式，利用油的燃烧火焰或燃气的燃烧火焰点燃生物质燃气，保证其正常点燃和燃烧。下面对几种典型的燃气燃烧器进行介绍。

3.1 BCT-1型生物质燃气燃烧器

河南农业大学农业部可再生能源重点开放实验室分析了生物质基本特性，计算得到生物质燃气燃烧时的火焰传播速度、着火浓度极限及燃烧理论空气量，总结得到燃气的着火温度和火焰特性，并研究设计了一种烤烟房的供热燃气燃烧器。该设备主要由供风系统、点火系统、检测系统、燃料系统和电控系统组成，如图2所示。

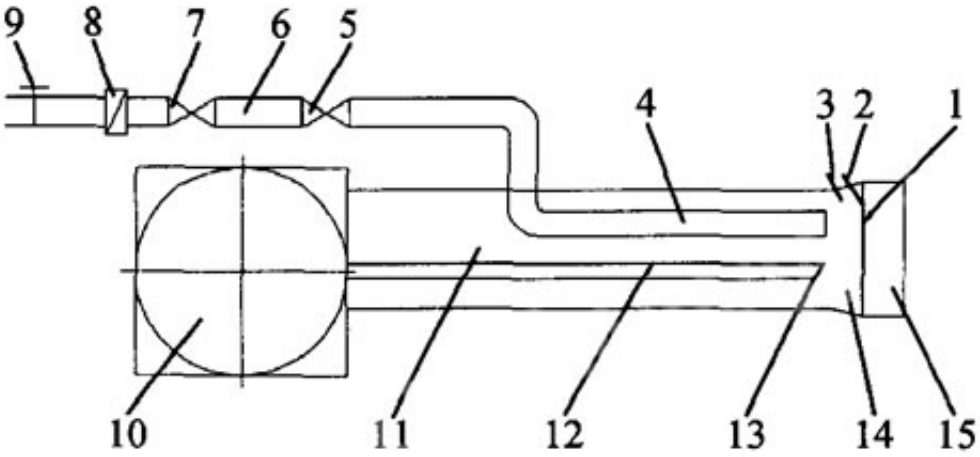


图 2　BCT—1 型生物质燃气燃烧器结构示意图

Fig. 2　Structure diagram of BCT—1 biomass gas burner

1. 火焰稳定格网　2. 热敏传感器探头　3. 光敏传感器探头
4. 燃气布气器　5. 燃气阀 2　6. 燃气管路　7. 电磁阀 1　8. 燃气过滤器
9. 燃气总阀　10. 油泵、风机、控制单元　11. 供风通道
12. 柴油雾化喷嘴　13. 高压点火器　14. 燃烧区　15. 高温烟气区

因生物质燃气的起燃温度为700～8O0°C左右，该生物质燃气燃烧器采用柴油辅助点火，保证燃气正常点燃及燃烧；燃气供气速度为0.9m／s，略大于燃气燃烧时火焰传播速度，防止燃烧过程中脱火和回火的发生；为防止燃气中未完全燃烧的CO影响烟叶品质，该燃烧器的燃气布气器采用燃气与空气垂直交叉混合燃烧，在燃烧端有火焰稳定格网，对剩余CO进一步反应，共设有71个火孔确保燃烧器的热强度。BCT-1型生物质燃气燃烧器的工作流程如图3所示。

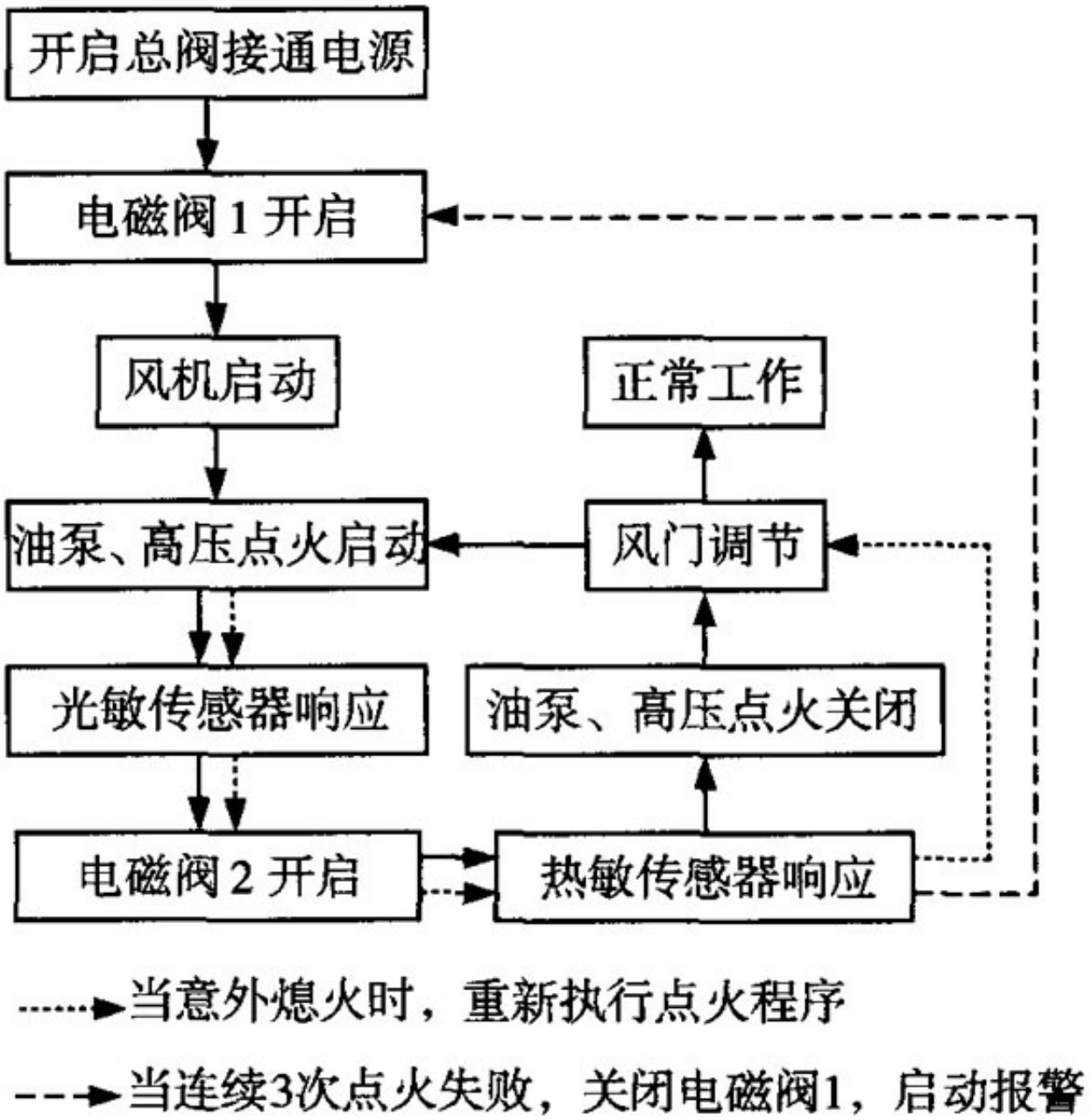


图 3　燃烧器工作流程

Fig. 3　Workflow of burner

通过测试得到该生物质燃气燃烧器具有良好的适用性，能够满足以玉米秸秆、玉米棒芯、花生壳、花生秸秆、大豆秸秆、麦秸、锯末及木材废料为气化原料的生物质燃气均能实现正常点火和燃烧。通过在河南省新郑市高班气化站连续2年的连续运行，能够满足烤烟季节的供热负荷要求，燃烧效率达到98%。

3.2生物质燃气专用灶具

家用燃气灶具一般属于大气式燃烧器，当燃气存在变化时，成分发生变化而使其燃烧特性、密度及热值发生变化，同时燃具燃烧器的热负荷、一次空气系数、燃烧稳定性、火焰结构、烟气中一氧化碳含量等燃烧工况会改变。燃气的成分改变不大时，燃气燃烧器的燃烧消耗虽有改变，但可以满足燃烧设备的原设计要求，那么燃具无需更换；反之燃气成分发生过大变化时，需更换燃具。

生物质燃气与天然气可以通过Webbioindex和AGA法进行互换性分析：Webbioindex法称为华白数指数法，当两者燃气的华白数相等或两种燃气的华白数变化不大于±(5%～10%)，可以认为两种燃气可以互换。生物质燃气与天然气的华白数指数相差很大，远远大于规定的差值±(5%～10%)，因此生物质燃气与天然气不能互换。

河南省科学院能源研究所以高效节能、低污染、通用性好、着火率高、燃烧稳定性、坚固耐用及成本为研究设计原则，通过分析生物质燃气成分及各参数，根据实际使用经验及GB16410家用燃气灶具的要求，计算燃烧器内外圈的尺寸、引射器喉部尺寸、锅支架，并选择确定了燃烧方式、点火系统、燃气阀体总成、灶具进气丁字管尺寸及灶具材质等，设计了一种生物质燃气专用灶具，具体参数和性能如表3所示。

表 3　生物质燃气专用灶具设计及性能

Tab. 3　Design and performance of special biomass gas cooking apparatus

项目		设计
点火方式		大气式
热流量		外圈热流量为 2.3kW，内圈热流量为 0.9kW
燃烧器计算	外圈	火孔总面积 F_p=200mm²，火孔深度为 2.4mm，喷嘴直径 d=4.0mm，引射器喉部直径 d_t=9mm
	内圈	火孔总面积 F_p=75mm²，火孔深度为 6.4mm，喷嘴直径 d=2.46mm，引射器喉部直径 d_t=5mm
锅支架		外圈燃烧器内锥高度 h_n=7.7，外锥高度为 h_w=32mm，锅支架高度大于 32mm；锅支架内环直径为 125mm，外圈高 180mm，内环 75mm；锅支架支点截面为梯形，既适应平底锅、又适合尖底锅。
点火系统		连续电火花式点火装置，脉冲次数为 3 次/s
燃气阀体总成		1. 能够单独控制内外圈燃烧器，且能分别调节内外圈燃烧器的火力大小； 2. 保证达到喷嘴截面积 4 倍以上的通气孔截面积(即通气孔直径≥9.4mm)； 3. 旋塞阀周向密封长度≥3mm，轴向密封长度≥6mm； 4. 实现旋塞阀与点火联动。
灶具进气丁字管尺寸		丁字管进气口内径≥13.3mm，分支管内径≥9.4mm
灶具材质		面板采用厚 0.45mm 抛光不锈钢板；火盖、燃具旋塞、喷嘴等部件选用黄铜铸件；采用高温不沾油涂料外涂于燃烧器；铝合金压铸件作为燃气阀体，冷板镀镍—铬锅制作支架，对内部支撑架进行冷板烤漆。

3.3生物质燃气专用灶具设计及性能

该生物质燃气专用灶具的结构及尺寸设计合理，以灶具通用性、一次空气系数及锅支架高度为试验因子，对燃烧性能影响进行大量试验，总结出生物质燃气专用灶具的关键技术性能指标设计原则。

由于我国燃气燃烧器在过剩空气系数、燃气与空气的混合程度及排放污染物等方面存在不足，使得国产燃气燃烧器的使用效果与进口燃烧器存在一定差距。在设计和改进生物质燃气燃烧器时也重点考虑了这些问题，例如重庆大学崔鹏飞设计的富氢生物质气化气燃烧器改进了隔离环板尺寸、增加锥型钝体及安装轴向叶片使其燃烧器性能提高；东北林业大学的李七军设计了一种BGH生物质燃气燃烧机，对燃烧机出口速度进行实验，选择直流外旋流结构能够实现很好的调节作用，并用采样不同旋流叶片倾角对出口气流流场进行分析，可以在火焰性达到某个范围时增加阻力挡板，提高燃气和空气的混合。

4总结与建议

由于生物质燃气净化不彻底，生物质焦油问题成为阻碍生物质热化学转化技术发展的颈瓶。首先生物质燃气中的焦油会堵塞、
腐蚀燃气管道及阀门；
其次生物质燃气热值低，同时该燃气氮量较高
，燃烧会产生较高的NO_x
。这些都对生物质燃气燃烧器的使用存在很大挑战。因此，针对生物质燃气的这些特点，应设计一种生物质燃气燃烧的专用设备。

虽然我国秸秆资源量大，年产量达9×10^{8}
t左右，但是由于农业生产规模为小型的家庭作业，生物质秸秆分布比较分散，且农作物生长季节差异大，使得生物质资源供应链不完整，供应成本较高，进行大规模生物质热解的经济性比较差。基于以上问题，应该结合我国生物质资源分布情况对生物质资源进行有效利用。在生物质相对较集中的区域，如以镇或区为单位建立生物质热解中转站，将生产的生物质燃气供于各家各户进行炊事、取暖用能，或建立小型的发电厂，减少煤炭发电，着力开发中小型生物

质燃气燃烧器。

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/139426.html